

ISSN 0013-5380 (Print)
ISSN 2411-1333 (Online)

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

2018

8

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор БУТЫРИН ПАВЕЛ АНФИМОВИЧ

Секция теоретических основ электротехники,
преобразовательной техники, электротехнических материалов

Бутырин П.А., член-корр. РАН, председатель секции, Козлов В.Н., доктор техн. наук, проф., Коровкин Н.В., доктор техн. наук, проф., Коротеев А.А., академик РАН, Лагарьков А.Н., академик РАН, Рашиди-Хаери Ф. (Швейцария), проф., Розанов Ю.К., доктор техн. наук, проф., Рывкин С.Е., доктор техн. наук, Серебрянников С.В., доктор техн. наук, проф.

Научный редактор Евсеев Б.Н.

Секция электроэнергетики

Строев В.А., доктор техн. наук, проф., председатель секции, Воропай Н.И., член-корр. РАН, Коган Ф.Л., доктор техн. наук, Кучеров Ю.Н., доктор техн. наук, Новиков Н.Л., доктор техн. наук

Научный редактор Кудинова Л.С.

Секция техники высоких напряжений, электрических аппаратов, трансформаторов

Белкин Г.С., доктор техн. наук, Корявни А.Р., доктор техн. наук, Раков В.А., проф. (США), Хомич В.Ю., академик РАН

Научный редактор Кудинова Л.С.

Секция электрических машин

Беспалов В.Я., доктор техн. наук, проф., председатель секции, Ковалев К.Л., доктор техн. наук, проф., Шакарян Ю.Г., доктор техн. наук, проф.

Научный редактор Евсеев Б.Н.

Секция электропривода и автоматизации технологических процессов

Красовский А.Б., доктор техн. наук, проф., председатель секции, Баке Е., проф. (Германия), Демидович В.Б., доктор техн. наук, проф., Поляхов Н.Д., доктор техн. наук, проф.

Научный редактор Евсеев Б.Н.

Заместитель главного редактора Б.Н. Евсеев

Ответственный секретарь Л.С. Кудинова

Литературный редактор Т.П. Александрова

Младший редактор Н.В. Чечунова

Компьютерная верстка Н.Н. Мерзляков

Перевод на английский язык В.И. Филатов

Почтовый адрес редакции: 111250 Москва, Красноказарменная ул. 14
«НИУ «МЭИ», редакция журнала «Электричество»

Адрес редакции: Москва, «НИУ «МЭИ», каф. ТОЭ, корпус «З», первый этаж

Телефон, факс (495) 362-7485

E-mail: etr1880@mail.ru; etr1880@mei.ru

<http://etr1880.mei.ru>

Полные тексты статей в формате pdf размещены на сайте

Научной электронной библиотеки (НЭБ): www.elibrary.ru

Подписано в печать 16.07.2018. Формат 60×84^{1/4}. Тираж 260 экз.
Бумага офсетная № 2. Печать офсетная. Печ. л. 9,5 Заказ 227 Цена свободная

Свидетельство о регистрации № 010272 от 8 февраля 1993 г.
Министерства печати и информации Российской Федерации

Издатель: «НИУ «МЭИ»
Отпечатано в типографии «НИУ «МЭИ».

Theoretical and scientific-practical journal

ELEKTRICHESTVO

ESTABLISHED IN JULY 1880

№ 8, 2018

FOUNDERS

Russian Academy of Sciences
(the Division of Power Engineering, Mashinary Construction,
Mechanical and Control Processes)

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**УЧРЕДИТЕЛЬ: РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК (Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления)**

СОДЕРЖАНИЕ	CONTENTS
Безей В.Ф., Задорожный А.О. Опыт эксплуатации ветропарка в Калининградской области.	V.F. Beley and A.O. Zadorozhny, Analyzing the Experience Gained from Operation of the Wind Farm in the Kaliningrad Region
4	4
Абдурахманов А.М., Глушкин С.В., Протасенко И.С., Шунтов А.В. О характеристиках надежности воздушных линий основной сети энергосистем	A.M. Abdurakhmanov, S.V. Glushkin, I.S. Protasenko, A.V. Shuntov, About the Reliability Characteristics of a Power System Backbone Network Overhead Lines
12	12
Дворкин Д.В., Тульский В.Н., Палис Ш. Ранжирование потребителей подстанции по степени влияния на несимметрию напряжения в условиях дефицита исходных данных	D.V. Dvorkin, V.N. Tul'sky, Sh. Palis, Ranking Substation Loads According to Their Effect on Voltage Imbalance in Case of Input Data Scarcity
18	18
Оморов Т.Т., Тақырбашев Б.К., Закириев К.Э. К проблеме диагностики обрывов электрических линий трехфазных распределительных сетей в составе АСКУЭ	T.T. Omorov, B.K. Takyrbashev, K.E. Zakiryayev, On the Problem of Diagnosing Open-Circuit Faults of Electric Lines in Three-Phase Distribution Networks
24	24
Шакиров М.А. Вектор Пойнтинга и новая теория трансформатора. Ч. 6. «Анатомия» автотрансформатора	M.A. Shakirov, Poynting's Vector and the New Theory of a Transformer. Part 6. «Anatomy» of an Autotransformer.
29	29
Беспалов В.Я., Каржавов Б.Н., Сидоров А.О. Некоторые вопросы повышения плавности вращения электрических приводов	V.Ya. Bespalov, B.N. Karzhavov, A.O. Sidorov, Achieving Smoother Rotation of Electric Drives
42	42
Антипов В.Н., Грозов А.Д., Иванова А.В. Исследование магнитных систем высокоскоростных мини-турбогенераторов с постоянными магнитами	V.N. Antipov, A. D. Grozov, A.V. Ivanova, Studying the Magnetic Systems of High Speed Mini Turbine Generators with Permanent Magnets.
52	52
ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА	NOTES and LETTERS
Кривонос Г.А. Расчет магнитопровода трансформатора (Дополнение к статье «Расчет параметров трансформаторов», Электричество, 2016, No. 6)	Krivosow G.A. In addition to article «Calculation of the Transformer Parameters» (Elektrichestvo, 2016, No. 6)
60	60
ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	FROM THE HISTORY OF ELECTRICAL ENGINEERING
Бородин Д.А. Блеск «Парижской оперы» (ч. II)	D.A. Borodin, The Brilliance of the Paris Opera (Part. II)
62	62

К проблеме диагностики обрывов электрических линий трехфазных распределительных сетей в составе АСКУЭ

ОМОРОВ Т.Т., ТАКЫРБАШЕВ Б.К., ЗАКИРЯЕВ К.Э.

Рассмотрена проблема идентификации и локализации обрывов линий электропередачи трехфазной распределительной электрической сети (РЭС) напряжением 0,4 кВ. Разрабатываются математические модели и методы, позволяющие идентифицировать текущее электрическое состояние РЭС в режиме реального времени по измерительным данным, поступающим с электронных счетчиков электроэнергии, установленных у абонентов сети. При этом состояние сети характеризуется набором электрических переменных, который определяется комплексными токами, напряжениями и сопротивлениями межабонентских участков магистральной линии. На основе анализа этих данных предложены критерии, которые позволяют обнаруживать критические ситуации, связанные с обрывами линий электропередачи. Использование этих критериев дает возможность локализовать места обрывов фазных и нейтрального проводов трехфазной сети. Полученные результаты ориентированы на диагностику состояний электрических линий распределительной сети в составе автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии.

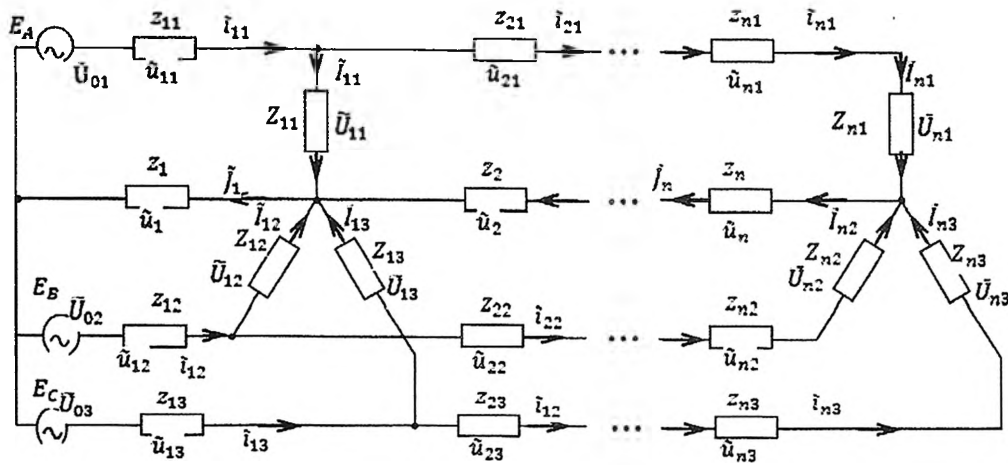
К л ю ч е в ы е с л о в а: распределительная сеть, состояние проводов, диагностика, обрывы линий, идентификация

В настоящее время в практике автоматизации электроэнергетических систем широкое применение находят интеллектуальные системы на базе современных информационных и телекоммуникационных технологий. На уровне распределительных электрических сетей (РЭС) указанные технологии внедряются в виде автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) [1]. Основными функциями этих информационных систем являются контроль данных с электронных счетчиков, установленных у абонентов трехфазной сети, и коммерческий учет электроэнергии. В то же время задачи дальнейшего повышения их эффективности и технико-экономических показателей распределительных компаний сегодня требуют, прежде всего, разработки оптимизационной и диагностической подсистем в составе АСКУЭ. При этом процедура оптимизации режима работы РЭС, в основном связана с решением проблемы компенсации фактора несимметрии токов и напряжений [2–4], а процедура диагностики состояний сети – идентификацией состояний электрических проводов магистральной линии [5–7]. Среди проблем диагностики сети чрезвычайно важное значение имеет идентификация и локализация обрывов фазных и нейтрального проводов трехфазной сети, что обуславливается необходимостью защиты населения от поражений электрическим током при обрывах воздушных электрических линий РЭС. К настоящему времени разработан ряд подходов и технических средств, направленных на решение этой актуальной проблемы [8–10]. Несмотря на это их

практическое применение связано с рядом трудностей, к которым, в частности, относятся фактор несимметрии токов и напряжений [11, 12], а также то, что распределительные сети функционируют в условиях неопределенности [7, 13]. Фактор неопределенности в основном обуславливается тем, что переменные (токи и напряжения) и параметры (сопротивления), определяющие электрическое состояние межабонентских участков магистральной линии, не доступны для измерения и поэтому не контролируются. В статье рассмотрен один из возможных подходов к решению рассматриваемой проблемы в составе АСКУЭ с использованием данных, поступающих в режиме реального времени с группы абонентских счетчиков электроэнергии.

Постановка задачи. Рассматривается трехфазная РЭС с напряжением 0,4 кВ, расчетная схема которой показана на рисунке. Для удобства на схеме фазы A, B, C пронумерованы соответственно через индексную переменную k ($k=1,3$). Остальные обозначения: E_A, E_B, E_C – мгновенные фазные ЭДС; Z_{vk} – v -я нагрузка (электроприемник), подключенная к фазе с номером k ; $\tilde{I}_{vk}, \tilde{U}_{vk}$ – мгновенные ток и напряжение на нагрузке Z_{vk} ; \tilde{i}_{vk}, z_{vk} – мгновенный ток и сопротивление v -го межабонентского участка (МАУ) k -й фазы; $\tilde{u}_{vk}, \tilde{u}_v$ – мгновенные напряжения соответственно на v -м МАУ k -й фазы и нейтрального провода; \tilde{J}_v, z_v – мгновенный ток и сопротивление v -го участка нейтрального провода;

1-24-28



Расчетная схема трехфазной РЭС

\dot{U}_k, \dot{I}_k — мгновенные напряжения и токи на входах соответствующих фаз соответственно.

Далее предполагается, что выполняются следующие условия:

- 1) РЭС функционирует в несимметричном режиме;
- 2) сопротивления z_{vk} и z_v ($k=1,3, v=1,n$) межэлементных участков трехфазной сети считаются априори неизвестными;

3) в системе используются технические средства для подавления высших гармонических составляющих токов и напряжений в сети;

4) со счетчиков электроэнергии ($S_{ч vk}$) в базу данных АСКУЭ по каналам связи в дискретные моменты времени $t \in [t_\xi, t_{\xi+1}]$ с шагом дискретизации $\Delta t_\xi = t_{\xi+1} - t_\xi$ ($\xi=1,2,\dots$) поступают следующие данные:

действующие значения токов I_{vk} и напряжений U_{vk} на нагрузках Z_{vk} ; коэффициенты мощности $\cos \varphi_{vk}$, определяемые фазовыми сдвигами φ_{vk} между соответствующими напряжениями \tilde{U}_{vk} и токами \tilde{I}_{vk} .

Отметим, что электрическое состояние сети в момент времени $t \in [t_\xi, t_{\xi+1}]$ описывается следующими комплексными векторами:

$\dot{I}_k = [\dot{I}_{1k}, \dot{I}_{2k}, \dots, \dot{I}_{nk}]$; $\dot{U}_k = [\dot{U}_{1k}, \dot{U}_{2k}, \dots, \dot{U}_{nk}]$;
 $\dot{u}'_k = [\dot{u}'_{1k}, \dot{u}'_{2k}, \dots, \dot{u}'_{nk}]$; $\dot{i}'_k = [\dot{i}'_{1k}, \dot{i}'_{2k}, \dots, \dot{i}'_{nk}]$;
 $\dot{u} = [\dot{u}_1, \dot{u}_2, \dots, \dot{u}_n]$; $\dot{J} = [\dot{J}_1, \dot{J}_2, \dots, \dot{J}_n]$;
 $Z_k = [z_{1k}, z_{2k}, \dots, z_{nk}]$; $Z_N = [z_1, z_2, \dots, z_n]$;
 $k = \overline{1,3}$,

$$\left. \begin{aligned} & \dot{I}_k = [\dot{I}_{1k}, \dot{I}_{2k}, \dots, \dot{I}_{nk}]; \dot{U}_k = [\dot{U}_{1k}, \dot{U}_{2k}, \dots, \dot{U}_{nk}]; \\ & \dot{u}'_k = [\dot{u}'_{1k}, \dot{u}'_{2k}, \dots, \dot{u}'_{nk}]; \dot{i}'_k = [\dot{i}'_{1k}, \dot{i}'_{2k}, \dots, \dot{i}'_{nk}]; \\ & \dot{u} = [\dot{u}_1, \dot{u}_2, \dots, \dot{u}_n]; \dot{J} = [\dot{J}_1, \dot{J}_2, \dots, \dot{J}_n]; \\ & Z_k = [z_{1k}, z_{2k}, \dots, z_{nk}]; Z_N = [z_1, z_2, \dots, z_n]; \\ & k = \overline{1,3}, \end{aligned} \right\} (1)$$

где $\dot{I}_{vk}, \dot{U}_{vk}, \dot{i}'_{vk}, \dot{u}'_v, \dot{J}_v$ — комплексные электрические переменные, которые являются неизвестными величинами и указаны на расчетной схеме трехфазной РЭС.

Далее рассматриваются следующие задачи:

- 1) определение компонентов векторов $\dot{I}_k, \dot{U}_k, \dot{u}'_k, \dot{i}'_k, \dot{u}, \dot{J}, Z_k, Z_N$, описывающих электрическое состояние трехфазной сети;
- 2) идентификация и локализация координат обрывов фазных и нейтрального проводов РЭС.

Решение задачи диагностики. Необходимо отметить, что на основе исходных данных, поступающих со счетчиков электроэнергии, невозможно оценить текущее электрическое состояние трехфазной сети. Для этой цели необходимо предварительно идентифицировать модели нагрузок, описывающие динамику синусоидальных токов и напряжений на нагрузках сети. Как известно, в установившемся режиме эти переменные можно представить в комплексной форме [14]:

Решение задачи диагностики. Необходимо отметить, что на основе исходных данных, поступающих со счетчиков электроэнергии, невозможно оценить текущее электрическое состояние трехфазной сети. Для этой цели необходимо предварительно идентифицировать модели нагрузок, описывающие динамику синусоидальных токов и напряжений на нагрузках сети. Как известно, в установившемся режиме эти переменные можно представить в комплексной форме [14]:

$$\dot{I}_{vk} = I_{vk}^B + I_{vk}^M = I_{vk} e^{j\alpha_{vk}}; \quad (2)$$

$$\dot{U}_{vk} = U_{vk}^B + U_{vk}^M = U_{vk} e^{j\psi_{vk}}; \quad v = \overline{1,n}; k = \overline{1,3}, \quad (3)$$

где $I_{vk}, U_{vk}, \alpha_{vk}, \psi_{vk}$ — модули и фазовые сдвиги этих переменных.

При этом

$$\alpha_{vk} = \tilde{\alpha}_{vk} - \alpha_{vk}^*; \quad \psi_{vk} = \tilde{\psi}_{vk} - \psi_{vk}^*; \quad k = \overline{1,3};$$

$$\alpha_{vk}^* = 2(k-1)\pi/3; \quad \psi_{vk}^* = 2(k-1)\pi/3,$$

где $\tilde{\alpha}_{vk}, \tilde{\psi}_{vk}$ — приращения фазовых сдвигов относительно их номинальных значений α_{vk}^* и ψ_{vk}^* , обусловленные несимметрией токов и напряжений в сети.

Таким образом, для того чтобы модели нагрузок представить в форме (2) и (3), необходимо найти неизвестные величины $\tilde{\alpha}_{vk}$ и $\tilde{\psi}_{vk}$ по данным, полученным со счетчиков электроэнергии и хранящимся в базе данных АСКУЭ. Один из возможных методов решения этой задачи предложен в [15].

Определение текущего электрического состояния сети. В случае, когда построена модель нагрузок в форме (2) и (3) на основе первого закона Кирхгофа, можно вычислить межабонентские токи i_{vk} и J_v по следующим формулам (см. рисунок):

$$i_{vk} = \sum_{l=v}^n \dot{I}_{lk} = \sum_{l=v}^n (I_{lk}^B + jI_{lk}^M); \quad v=\overline{1,n}; \quad k=\overline{1,3}; \quad (4)$$

$$\dot{J}_v = i_{v1} + i_{v2} + i_{v3}; \quad v=\overline{1,n}.$$

Элементы векторов \dot{u}_{vk} , \dot{u}_v определяются на основе вычислительной схемы, предложенной в [15]. При этом используется второй закон Кирхгофа, описывающий баланс напряжений в v -х контурах сети:

$$\dot{u}_{vk} + \dot{u}_v = \dot{U}_{vk} - \dot{U}_{v-1,k} = 0; \quad v=\overline{1,n}; \quad k=\overline{1,3}. \quad (5)$$

В случае, когда сечения фазных и нейтрального проводов одинаковы, то соответствующие сопротивления $z_{vk} = z_v$. Для этого случая в [15] на основе соотношений (5) получены следующие выражения для искоемых напряжений \dot{u}_{vk} :

$$\dot{u}_{v1} = (3\dot{b}_{v1} - \dot{b}_{v2} - \dot{b}_{v3}) / 4;$$

$$\dot{u}_{v2} = (-\dot{b}_{v1} + 3\dot{b}_{v2} - \dot{b}_{v3}) / 4;$$

$$\dot{u}_{v3} = (-\dot{b}_{v1} - \dot{b}_{v2} + 3\dot{b}_{v3}) / 4; \quad v=\overline{1,n},$$

где $\dot{b}_{vk} = \dot{U}_{v-1,k} - \dot{U}_{vk}$, $k=\overline{1,3}$.

При этом напряжения \dot{u}_v на участках нейтрального провода:

$$\dot{u}_v = \dot{u}_{v1} + \dot{u}_{v2} + \dot{u}_{v3}, \quad v=\overline{1,n}.$$

В случае, когда фазные и нейтральный провода имеют разные сечения, а их сопротивления имеют разные значения ($z_{vk} \neq z_v$), для определения искоемых напряжений \dot{u}_{vk} и \dot{u}_v можно использовать вычислительный алгоритм, предложенный в [12].

Идентифицированные таким образом комплексные векторы \dot{I}_k , \dot{U}_k , \dot{u}_k , \dot{i}_k , \dot{J} позволяют с определенной точностью определить оценки текущих значений компонентов вектор-параметров $Z_k = [z_{1k}, z_{2k}, \dots, z_{nk}]$ и $Z_N = [z_1, z_2, \dots, z_n]$ трехфазной сети:

$$z_{vk} = \dot{u}_{vk} / i_{vk}; \quad v=\overline{1,n}; \quad (6)$$

$$z_v = \dot{u}_v / J_v; \quad v=\overline{1,n}.$$

Реализация изложенных процедур (алгоритмов) оценки электрического состояния трехфазной сети осуществляется в режиме ее нормального функционирования (в штатном режиме). Предполагает-

ся, что полученные данные в соответствующих интервалах наблюдения $[t_\xi, t_{\xi+1}]$ хранятся в базе данных АСКУЭ.

Идентификация и локализация координат обрывов фазных и нейтрального проводов РЭС. Предположим, что для момента времени $t \in [t_\xi, t_{\xi+1}]$ при условии, что РЭС функционирует в нормальном (штатном) режиме, задача определения текущего электрического состояния сети решена, в частности, определены межабонентские комплексные токи i_{vk} для k -й фазы, а также значения сопротивлений z_v^* межабонентских участков нейтрального провода, определяемые соответственно формулами (4) и (6). Далее на основе этих данных составляем следующие векторы:

$$i_k^* = [i_{1k}^*, i_{2k}^*, \dots, i_{nk}^*], \quad Z_N^* = [z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*].$$

Отметим, что значения базовых сопротивлений z_v^* , $v=\overline{1,n}$, изменяются медленно в зависимости от текущих климатических условий и для достаточно длинного периода времени остаются практически постоянными, т.е. $z_v^* = \text{const}$.

Как известно, в РЭС два типа обрывов: фазных линий; нейтрального провода.

В первом случае при обрыве провода q -го межабонентского участка k -й фазы $i_{vk} = 0$, $v=q, q+1, \dots, n$, так как соответствующие электроприемники (нагрузки) при этом отключены от питания. Тогда структура вектора i_k имеет следующий вид:

$$i_k = [i_{1k}, i_{2k}, \dots, i_{q-1,k}, 0, \dots, 0], \quad (7)$$

где $i_{vk} > 0$, $v=1, 2, \dots, q-1$.

Анализ показывает, что при обрыве провода η -го межабонентского участка нейтрального провода имеют место следующие соотношения для компонентов вектора Z_N :

$$z_\eta \neq z_\eta^*; \quad (8)$$

$$z_v = z_v^*; \quad v=1, 2, \dots, \eta-1, \eta+1, \dots, n,$$

где z_η — текущее значение сопротивления, определенного для рассматриваемого дискретного момента времени t .

При этом

$$Z_N = [z_1^*, z_2^*, \dots, z_{\eta-1}^*, z_\eta, z_{\eta+1}^*, \dots, z_n^*].$$

Таким образом, во втором случае при выполнении условия (8) векторы Z_N^* и Z_N не являются равными, т.е.

$$Z_N \neq Z_N^* \quad (9)$$

Очевидно, что в штатном режиме работы РЭС (при отсутствии обрывов линий электропередачи) с определенной точностью выполняется условие $Z_N = Z_N^*$.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие критерии для локализации обрывов фазных и нейтрального проводов сети.

Критерий 1: при обрыве провода q -го участка k -й фазы для вектора i_{vk} выполняется условие (7).

Критерий 2: при обрыве η -го участка нейтрального провода выполняются условия (8) и (9).

Сформулированные критерии можно рассматривать как методологическую и алгоритмическую основу для разработки подсистемы диагностики состояний электрических линий распределительных сетей в составе АСКУЭ.

Выводы. Предложен подход к решению проблемы диагностики обрывов электрических линий трехфазных распределительных сетей в режиме реального времени с использованием данных, поступающих в базу данных АСКУЭ с группы абонентских счетчиков электроэнергии. Его основу составляют математические модели нагрузок, построенные в комплексной форме, в условиях несимметрии токов и напряжений. Использование этих моделей дало возможность разработать вычислительные процедуры для идентификации недоступных для непосредственного измерения и контроля электрических переменных (токов, напряжений) и параметров (сопротивлений), определяющих состояния межабонентских участков магистральной линии сети. На основе полученных результатов сформулированы критерии, позволяющие идентифицировать и локализовать места обрывов фазных и нейтрального проводов.

Методологические и алгоритмические основы предложенного подхода ориентированы на создание специального программного обеспечения подсистемы диагностики состояний электрических проводов распределительных сетей в составе АСКУЭ, что дает возможность принять оперативные меры в критических ситуациях при их функционировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ. Киров: ВятГУ, 2006, 102 с.
2. Косоухов Ф.Д., Васильев Н.В., Филиппов А.О. Снижение потерь от несимметрии токов и повышение качества электрической энергии в сетях 0,38 кВ с коммунально-бытовыми нагрузками. — Электротехника, 2014, No. 6, с. 8–12.
3. Omorov T.T., Takyrbashev B. K., Osmonova R.Ch. Synthesis of the managing director of the subsystem for optimization of the operating mode of the distributive electric network. — Engineering Studies, 2016, No. 3, pp. 606–615.

4. Redkovsky N.N., Goureev V.A. Optimization problems and calculation of electrical networks work regimes. — Optimization Methods and Software, 1997, т. 7, No. 2, pp. 139–155.

5. Фардиев И.Ш., Минуллин Р.Г., Закамский Е.В., Андреев В.В., Губаев Д.Ф. Диагностика воздушных линий распределительных электрических сетей. — Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2004, No. 7–8, с. 41–49.

6. Kutina M.V. Control system emergency mode for wire break in distribution networks. — Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2011, No. 6 (99), pp. 60–63.

7. Omorov T.T., Osmonova R.Ch., Takyrbashev B.K. Диагностика состояний электрических линий распределительных сетей в составе АСКУЭ. — Контроль. Диагностика, 2017, No. 5, с. 44–48.

8. Ершов А.М., Филатов О.В., Молоток А.В. и др. Система защиты электрической сети напряжением 380 В от обрывов воздушной линии. — Электрические станции, 2016, No. 5, с. 28–33.

9. Ключков А.Н. Устройство для обнаружения трехфазных сетей с обрывом фазного провода. — Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2011, No. 1, с. 221–223.

10. Кутина М.В. Система защиты от обрыва провода и поиск места повреждения в распределительных сетях напряжением 6–35 кВ. — Технічна електродинаміка, 2012, No. 2, с. 46–47.

11. Пономаренко О.И., Холидинов И.И. Влияние несимметричных режимов на потери мощности в электрических сетях распределенных систем электроснабжения. — Энергетик, 2015, No. 12, с. 6–8.

12. Omorov T.T. Оценка влияния несимметрии токов и напряжений на потери электроэнергии в распределительной сети с использованием АСКУЭ. — Электричество, 2017, No. 9, с. 17–23.

13. Кочерган С.В., Кобелев А.В., Хребтов Н.А., Киташия П.А., Терехов К.И. Моделирование сельских распределительных электрических сетей 10/0,4 кВ. — Fractalsimulation, 2013, No. 1, с. 5–13.

14. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин А.В. Теоретические основы электротехники. Т.1. СПб.: Питер, 2009, 512 с.

15. Omorov T.T., Takyrbashev B.K., Osmonova R.Ch. К проблеме моделирования несимметричных распределительных электрических сетей в составе АСКУЭ. — Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия энергетика, 2017, No. 1, с. 21–28.

[09.04.2018]

А в т о р ы: **Оморов Туратбек Турсунбекович**, Член-корреспондент НАН КР; окончил Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина) в 1975 г. В 1997 г. защитил докторскую диссертацию в НИО «Кибернетика» АН РУз по проблемам автоматического управления техническими системами. Заведующий лабораторией Института физико-технических проблем и материаловедения НАН КР.

Такырбашев Бейшеналы Касымалиевич окончил Фрунзенский политехнический институт в 1973 г. Начальник службы релейной защиты и автоматики ОАО «Северэлектро».

Закиряев Кубаньчбек Эсейович окончил Томский политехнический университет им. С.М. Кирова в 1992 г. Старший преподаватель Иссык-Кульского государственного университета им. К. Тыныстанова.